

## **La genèse de sols salés à alcalis dans les polders des rives nord-est du lac Tchad**

*C. CHEVERRY*

*Centre O. R. S. T. O. M de Fort-Lamy, Tchad*

Les sols des «polders» de Bol sont de texture argileuse, humifères, jeunes, puisque gagnés sur le Lac Tchad depuis quinze ans seulement. Une nappe phréatique peu profonde, diversement minéralisée (0,2 à 20 g de sel par litre) favorise sous ce climat tropical subaride (précipitations: 300 mm; évapotranspiration potentielle: 2200 mm) l'évaporation de l'eau remontée par capillarité, provoque une accumulation progressive des sels dans la nappe et les sols.

Les eaux d'infiltration alimentant cette nappe sont caractérisées, comme celles du Lac Tchad, par leur très faible concentration saline et leur faciès bicarbonaté-calcique. Faciès: ce terme désigne simplement la nature de l'anion et du cation dominants (en me/l). Dans toute la gamme observée les chlorures ne jouent qu'un rôle secondaire, ce qui traduit l'origine purement continentale de ces sels. Ces eaux n'ont aucun rôle alcalinisant sur un matériau dont le complexe adsorbant est presque saturé par le calcium et le magnésium, ce qui est le cas des matériaux lacustres au moment de leur exondation. La concentration saline progressive de cette nappe, observée le long d'axes partant des points hauts de bordure vers les points bas des polders, s'accompagne d'une augmentation de la valeur du rapport (Na/Somme des cations) de ces eaux et parallèlement, dans les sols correspondants, d'une précipitation de carbonate de calcium, d'une fixation de sodium sur le complexe adsorbant.

C'est ce que montre l'étude, en cours depuis 1964, du phénomène d'interaction nappe-sols et de sa variation latérale le long de tels axes. Les interprétations présentées ici sont faites en trois étapes:

- relation entre la concentration saline de la nappe et la composition chimique de ces eaux (faciès).

- relation entre cette composition chimique et le degré d'alcalinisation des sols correspondants (proportion du sodium fixé sur le complexe: Na/T%).

- et enfin, relation synthétisant les deux précédentes, entre la concentration saline de la nappe et la genèse de sols salés à alcalis.

Les valeurs numériques présentées sont regroupées sur le Tableau 1.

### **Relation entre la concentration saline de la nappe et sa composition chimique**

Du point de vue cationique, on note une augmentation de la valeur du rapport (Na/Somme des cations) en fonction de la concentration, dans les premières étapes de celle-ci (0,2 à 3 g/l). Pour des concentrations plus fortes (3 à 20 g/l), la valeur de (Na/S) est comprise entre 50 et 92%; le sodium est

Tableau I  
Relations entre la concentration saline et composition chimique de la nappe et l'intensité de l'alcalinisation et la nature  
des sels exprimés dans les sols

		Concentration saline de la nappe en g/l				
		0,5	1	3 à 5	12	20
Nappe phréatique:	faciès	HCO <sub>3</sub> , Ca	HCO <sub>3</sub> , Ca ou Na	HCO <sub>3</sub> ou SO <sub>4</sub> , Na	SO <sub>4</sub> , Na	SO <sub>4</sub> , Na
	% Na/S cations	HCO <sub>3</sub> , Ca < 30	HCO <sub>3</sub> , Na < 50	HCO <sub>3</sub> , Na < 70	HCO <sub>3</sub> , Na < 70	SO <sub>4</sub> , Na < 70
	Horizons imprégnés	< 40	50 à 70	60 à 80	80 à 92	50 à 75
	Horizons superficiels	< 5	< 10	< 15	< 20	< 25
Sols	Na/T %	≤ 10	< 15	≤ 20	< 50	—
		< 5	< 10	< 20	< 20	< 30
	Sels exprimés	CaCO <sub>3</sub> , Na <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>  CaCO <sub>3</sub>	CaCO <sub>3</sub> , Na <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>  CaCO <sub>3</sub> , Na <sub>2</sub> CO <sub>3</sub> traces de Na <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>	Na <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> , CaCO <sub>3</sub> > 30	Na <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> , CaCO <sub>3</sub> , traces CaSO <sub>4</sub> 60 à 100	Na <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> , CaSO <sub>4</sub> , CaCO <sub>3</sub> 30 à 50  Na <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> , CaCO <sub>3</sub> Na <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> , CaCO <sub>3</sub> Na <sub>2</sub> CO <sub>3</sub>

donc alors dans tous les cas le cation nettement prédominant. La nature de l'anion, elle, n'est bien définie qu'aux deux extrémités de la gamme:

— toutes les eaux très faiblement minéralisées (moins de 0,5 g/l) ont un faciès *bicarbonaté* — calcique.

— les eaux les plus minéralisées (12 g et plus) ont un faciès *sulfaté-sodique*.

Mais dans toute la partie médiane de la gamme, l'anion le plus représenté peut être, suivant les cas, l'anion bicarbonate ou l'anion sulfate. Ceci apparaît fonction du degré de drainage naturel du milieu (CHEVERRY [2]). (Ces «polders» n'ont pas encore fait l'objet d'un aménagement hydroagricole. La seule irrigation pratiquée, très localement, c'est avec l'eau de la nappe elle même; il n'y a pas de réseau de drainage).

Dans des *milieux marécageux*, caractérisés par une nappe très peu profonde (moins de 50 cm), par l'abondance de matières végétales fermentescibles, les phénomènes «générateurs de  $\text{CO}_2$ » sont intenses et se traduisent, au niveau de la nappe, par une tension de  $\text{CO}_2$  dissous élevée. Le milieu est anaérobie, les composés du soufre libérés par la matière organique sont sous forme réduite; en solution, l'anion bicarbonate reste largement dominant. La tension de  $\text{CO}_2$  limite l'augmentation du pH (inférieur à 7,5 «in situ»), empêche l'apparition de  $\text{CO}_3^{2-}$ . Quoiqu'élevée la proportion de sodium par rapport à la somme des cations est elle aussi limitée par cette tension de  $\text{CO}_2$  qui permet une certaine augmentation de la teneur en calcium lors de la concentration. Ces eaux ont un faciès bicarbonaté-sodique.

Dans des *milieux bien drainés* à nappe plus profonde, où les sols sont fortement structurés, aérés, la production de  $\text{CO}_2$  est beaucoup moins intense. Les sulfates ne sont pas réduits et deviennent l'anion dominant pour une concentration de 3 à 5 g par litre. Le calcium reste bien représenté (Na/S nappe  $\leq 70\%$ ) en particulier dans le cas où la phase de drainage succède à une phase marécageuse (attaque probable de carbonate de calcium lors de la réoxydation bactérienne des composés réduits du soufre). Ces eaux ont un faciès sulfaté-sodique.

Les nombreux cas de transition étudiés confirment que le passage du faciès bicarbonaté-sodique au faciès sulfaté-sodique est observé pour des valeurs d'autant plus élevées de la concentration saline des eaux que le caractère marécageux du milieu est plus accusé.

#### Relation entre la composition chimique de la nappe et le degré d'alcalinisation des sols correspondants

Au niveau des horizons imprégnés par la nappe (partie inférieure des profils), la composition cationique de la nappe rend assez bien compte (CHEVERRY [3]) du degré d'alcalinisation du sol. Cette alcalinisation est:

- faible: (Na/T) inférieur à 10 %, pour (Na/S cations de la nappe)  $< 65\%$
- modérée: (Na/T) inférieur à 25 %, pour (Na/S cations de la nappe)  $< 75\%$ .

Rapporté aux caractéristiques de la nappe en fonction de sa concentration, cela signifie qu'en milieu drainé, l'alcalinisation reste toujours, à ce

niveau des profils, faible ou modérée. En milieu marécageux par contre elle devient forte dès que la concentration de la nappe dépasse 2 à 3 g/litre.

Au niveau des horizons d'accumulation saline (horizons observés soit en surface du sol, soit à faible profondeur: 10 à 20 cm), la composition chimique de la nappe n'intervient plus qu'indirectement sur le degré d'alcalinisation du sol, par son action sur l'intensité de cette accumulation et surtout sur la nature des sels exprimés. Parmi ceux-ci le carbonate de sodium et le sulfate de calcium jouent un rôle particulier.

En milieu marécageux, lors de la phase de remontée capillaire, la tension de  $\text{CO}_2$  diminue, le pH des solutions du sol augmente, l'anion  $\text{CO}_3^{2-}$  apparaît; tout le calcium du milieu, celui apporté par la nappe et celui déplacé par le sodium du complexe adsorbant, précipite à l'état de carbonate de calcium (observé notamment sous forme de gaines le long d'anciens pores racinaires). Le sel exprimé en surface du sol est, localement, du carbonate de sodium; (valeurs de Na/T dans ce milieu: 30 à 100%). Ces phénomènes sont observés dans une large partie de la gamme de concentration de la nappe (2 à 12 g/l).

En milieu drainé par contre, les valeurs de Na/T au niveau des horizons d'accumulation saline restent toujours inférieures à 30%. Un début de gypsification limite l'intensité de l'alcalinisation. En effet, pour une concentration de la nappe supérieure à 3 g/l, l'anion dominant est l'anion sulfate. Lors de la phase de remontée capillaire, le calcium du milieu n'est pas entièrement précipité à l'état de carbonate et on observe l'individualisation de sulfate de calcium. Ce calcium reste aisément solubilisable et on peut observer temporairement, en saison des pluies, une diminution de la valeur de Na/T ( $< 10\%$ ), après le lessivage du sulfate de sodium, sel le plus représenté en saison sèche

### Relation entre la concentration saline de la nappe et la genèse de sols salés à alcalis

La définition des sols salés à alcalis retenue ici suppose non seulement une proportion suffisante de sodium fixé sur le complexe adsorbant des sols ( $\text{Na/T} \geq 15\%$ ) mais aussi une dégradation de leur structure, initialement excellente. Les relations précédemment mises en évidence seront reprises sous cet angle.

Dans les milieux drainés, il apparaît *qu'il n'y a pas de genèse de sols salés à alcalis*. C'est à la partie médiane de la gamme de concentration saline de la nappe (0,5 à 3 g/l), que correspond le risque d'alcalinisation le plus réel. Les valeurs de Na/T peuvent en effet atteindre 20% sans qu'il y ait alors dans le sol de calcium sous forme aisément solubilisable. La composition de la nappe, où les bicarbonates jouent encore un rôle essentiel, ne permet pas en effet l'individualisation de gypse. Mais la dégradation de la structure (test des agrégats) est peu sensible. Le faible gonflement du matériau lorsqu'il est imprégné, le type d'humus permettent à la structure de résister à l'effet dégradant d'une alcalinisation modérée. De tels sols gardent leur caractère fortement structuré, profondément aéré, ce qui leur permet, lorsque le milieu se concentre, de s'orienter sur une voie «saline», le processus de début de gypsification prenant alors le pas sur celui d'alcalinisation.

Le milieu marécageux par contre est *favorable à la genèse de sols salés à alcalis* (concentration de la nappe de 0,5 à 12 g/l). Les très fortes alcalini-

sations s'accompagnent en effet, surtout en présence de  $\text{Na}_2\text{CO}_3$ , d'une forte dégradation de la structure, d'une modification de la nature de l'humus (par rapport aux milieux drainés, augmentation de la proportion d'acides fulviques, d'acides humiques bruns, extraction même de la matière organique, salant noir en surface du sol.)

Pour des valeurs plus élevées de la concentration (12 g et plus dans la nappe), il semble (observations peu nombreuses) que le sel nettement dominant devienne le sulfate de sodium, avec encore présence de carbonate de sodium.

### Conclusion

En fonction d'une concentration saline croissante de la nappe phréatique, on observe dans ces polders de Bol une «séquence de sols» dont les termes extrêmes sont des Sols Hydromorphes faiblement salés (nappes très faiblement minéralisées: 0,2 à 0,5 g/l) et des Sols Halomorphes salins (nappes minéralisées: 12 g et plus/l).

Le stade des Sols Halomorphes salés à alcalis apparaît comme un stade intermédiaire (KOVDA [4]), d'importance très inégale suivant le milieu: il est peu représenté en milieu drainé; il couvre une large partie de la gamme de concentration de la nappe en milieu marécageux. Le caractère très humifère du matériau originel joue dans chaque cas un rôle: par son action favorable sur la stabilité structurale en milieu drainé; par son action sur l'intensité des phénomènes générateurs de  $\text{CO}_2$  en milieu marécageux.

### Bibliographie

- [1] AUBERT, G.: Classification des sols. Tableaux des classes, sous classes, groupes et sous-groupes de sols utilisés par la Section de Pédologie de l'ORSTOM. Cah. ORSTOM, ser. Pédologie. **3**, 3,65. 1965.
- [2] CHEVERRY, C.: Rôle original de la pédogenèse sur la nature et le mode de l'accumulation saline dans certains milieux confinés en région subaride. Science du Sol. **2**, 33—53. 1968.
- [3] CHEVERRY, C.: Salinisation et alcalinisation des sols des polders de Bol. Conséquences sur la fertilité et l'aptitude à l'irrigation de ces sols. ORSTOM. Fort—Lamy. 1969.
- [4] KOVDA, V. A.: Alkaline Soda-Saline soils. Proceedings of the symposium on sodic soils. Budapest 1964. Agrokémia és Talaj. Suppl. **14**, 15—48. 1965.
- [5] SZABOLCS, I.: Salt affected soils in Hungary. Proceedings of the symposium on sodic soils. Budapest 1964. Agrokémia és Talajtan, Suppl. **14**, 275—290. 1965.
- [6] WHITTIG, L. D. & JANITZKY, P.: Mechanisms of formation of sodium carbonate in soils. I. Manifestations of biological conversions. J. Soil Science. **14**, 322—333. 1963.